

(DE 690 05 685)

The micro-magnetometer has two superposed thin conducting layers (1,3) separated by an insulating interface (2) which are formed on an insulating substrate. It has an upper engraved layer having a segment layer (4) joined at its ends by two parallel bands (6,7) orthogonal to this segment. The segment (4) and a part of the bands as well as the corresponding parts of the lower layer are situated above a slot in the substrate and a conducting surface (14) is formed in the substrate slot.

Electrical connections connect the two bands to a current source and a device measures the variations in capacity between the thin inner layer and the conducting surface.

**Advantage** - Resonating part of the device is made as fine and light as is possible to reduce effect of parasitic disturbances

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

87 EP 0 392 945 B1

10 DE 690 05 685 T 2

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
G 01 R 33/028

27	Deutsches Aktenzeichen:	690 05 685.0
86	Europäisches Aktenzeichen:	90 420 182.9
86	Europäischer Anmeldetag:	11. 4. 90
87	Erstveröffentlichung durch das EPA:	17. 10. 90
87	Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	5. 1. 94
47	Veröffentlichungstag im Patentblatt:	21. 7. 94

DE 690 05 685 T 2

30 Unionspriorität: 52 33 31

14.04.89 FR 8905281

73 Patentinhaber:

Sextant Avionique, Meudon la Foret, FR

74 Vertreter:

Hoormann, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 28209 Bremen;  
Goddard, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.: Liesegang, R.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 80801 München; Winkler, A.,  
Dr.rer.nat., 28209 Bremen; Tönhardt, M., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 40593 Düsseldorf;  
Stahlberg, W.; Kuntze, W.; Kouker, L., Dr., 28209  
Bremen; Huth, M., 6228 Eltville; Ebert-Weidenfeller,  
A., Dr. jur., 28209 Bremen; Nordemann, W., Prof. Dr.,  
10719 Berlin; Nordemann, A., Dr. jur., 28717 Bremen;  
Vinc, K., Dr.; Hertin, P., Prof. Dr.; vom Brocke, K.,  
10719 Berlin; Omsels, H., 80801 München; Titz, G.,  
04103 Leipzig; Pasetti, M., Dr., Rechtsanwälte, 10719  
Berlin

84 Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, FR, GB, IT, LI

77 Erfinder:

Donzier, Eric, F-74000 Annecy, FR; Thomas, Isabelle,  
F-26000 Valence, FR; Spirkovitch, Serge, F-75015  
Paris, FR; Baillieu, Francois, F-94440 Marolles en  
Brie, FR

54 Mikromagnetometer mit kapazitiver Detektion.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 93 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 05 685 T 2

EP 90 420 182.9/0 392 945  
Sextant Avionique  
SL 3614

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Mikromagnetometer.

In den letzten Jahren wurden Mikromagnetometer entwickelt, die durch ähnliche Techniken wie die Techniken realisiert wurden, die auf dem Gebiet der Herstellung von integrierten Schaltungen verwendet werden. Diese Mikromagnetometer sind allgemein auf einem Siliciumwafer und einem Flügel oder einer Klappe aus Silicium aufgebaut, die ihrerseits eine Wicklung trägt. Wenn ein Gleichstrom die Wicklung durchfließt und ein magnetisches Feld senkrecht zu einer Fließrichtung des Stroms angelegt wird, bildet die Ablenkung des Flügels oder der Klappe ein Maß für die Stärke des magnetischen Felds. Wenn der elektrische Strom ein Wechselstrom mit der Resonanzfrequenz des mechanischen Systems ist, bildet die Amplitude der Oszillation eine Angabe über den Wert des magnetischen Felds. Ein solches Mikromagnetometer ist z. B. in GB-A-2136581 beschrieben.

Rechnungen zeigen, daß die Empfindlichkeit des Systems umso mehr erhöht ist, je dünner der vibrierende Flügel ist.

Bei Systemen nach dem Stand der Technik, wie sie vorangehend beschrieben wurden, in denen das vibrierende Teil aus einem Siliciumblättchen besteht, ist es nicht möglich, die verschiedenen Parameter angesichts der Tatsache frei zu wählen, daß eine untere Grenze für die Dicke existiert, die man einem Siliciumblättchen verleihen kann, das man aus einem Siliciumwafer erhält. Beispielsweise sind Siliciumwafer üblicherweise in Dicken von 0,3 mm bis 0,5 mm verfügbar und es ist möglich, sie soweit dünner zu machen, daß man Flügel oder Klappen mit einer Dicke von ungefähr 10  $\mu\text{m}$  bis 15  $\mu\text{m}$  erhält. Unterhalb dieser Werte wird es wirklich schwierig, die endgültige Dicke genau zu kontrollieren.

Aufgrund dieser Einschränkung der minimalen Dicke ist es dem Designer eines Mikromagnetometers nicht vollständig freigestellt, verschiedene Parameter unabhängig zu wählen, wie die zu wählenden Abmessungen für den vibrierenden Flügel (dessen Spannweite ist unausweichlich relativ groß und die Einrichtung wird eine gewisse Siliciumoberfläche in Anspruch nehmen), die Resonanzfrequenz, usw. Insbesondere ist man gezwungen, Systeme zu wählen, die bei Frequenzen von ungefähr 10 kHz eine Resonanz haben, was nicht ausreicht, um es zu ermöglichen, sich so sehr wie möglich von parasitischen mechanischen Vibrationen frei zu machen. Weiterhin verhindern es die Abmessungen des Flügels, daß man sich vollständig der Störungen entledigt, die mit Beschleunigungen verbunden sind, denen das System unterworfen sein kann.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine neue Art eines Mikromagnetometers vorzusehen.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein solches Mikromagnetometer vorzusehen, in dem der vibrierende Teil so dünn und leicht wie möglich ist.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein solches Mikromagnetometer vorzusehen, bei dem der vibrierende Teil eine Oberfläche in Anspruch nimmt, die so klein wie möglich ist.

Diese Aufgaben der vorliegenden Erfindung werden gelöst, indem ein Mikromagnetometer mit kapazitiver Detektion vorgesehen wird, welches umfaßt:

- zwei dünne, übereinander angeordnete Leiterschichten, die durch eine isolierende Zwischenschicht getrennt sind und auf einem isolierenden Substrat ausgebildet sind, wobei zumindest die obere Schicht geätzt ist, so daß sie ein Schichtsegment umfaßt, das an seinen Enden mit zwei par-

allelen Streifen, welche orthogonal zu diesem Segment sind, zusammenstößt, und wobei das Segment und ein Teil dieser Streifen sowie die entsprechenden Teile der unteren Schicht einen Flügel bilden, der sich oberhalb einer Aussparung des Substrats befindet.

- eine leitende Fläche, welche in der Aussparung des Substrats zumindest gegenüber dem Segment ausgebildet ist,
- elektrische Verbindungseinrichtungen zu den zwei Streifen der oberen Schicht, um daran eine Stromquelle anzuschließen, und
- eine Meßeinrichtung für die Änderung der Kapazität zwischen der dünnen unteren Schicht und der leitenden Fläche.

Ein Verfahren zum Herstellen eines Mikromagnetometers gemäß der Erfindung umfaßt die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines Substrats mit einer oberen isolierenden Fläche, welches wenigstens eine leitende Fläche umfaßt,
- Bilden eines Schichtabschnitts, insbesondere oberhalb der leitenden Fläche, aus einem Material, das selektiv bezüglich der freiliegenden Oberflächen des Substrats angegriffen werden kann,
- Bilden einer Mehrschichtstruktur oberhalb des Substrats und des besagten Schichtabschnitts aus einem selektiv angreifbaren Material, welche umfaßt:
  - eine erste Leiterschicht,
  - eine Isolatorschicht,
  - eine zweite Leiterschicht.
- Ätzen der Mehrschichtstruktur, so daß davon ein erster Abschnitt auf dem Substrat und ein zweiter Abschnitt auf dem Schichtabschnitt aus einem selektiv angreifbaren Material zurückbleiben, wobei dieser zweite Abschnitt derart geformt ist, daß er das Fließen eines Stroms in der oberen Leiterschicht in einer Hauptrichtung gestattet,

die orthogonal zu dem zu detektierenden Feld ist, und Beseitigen des Schichtabschnitts aus einem selektiv angreifbaren Material durch selektives Angreifen, woraus sich ergibt, daß der zweite Teil über der Leiteroberfläche vorsteht.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Leiterschichten Aluminiumschichten und die Isolatorschicht ist eine Aluminiumoxidschicht. Das Substrat ist ein Siliciumwafer, der mit Siliciumoxid überzogen ist und die leitende Fläche ist ein Teil einer Schicht aus dotiertem polykristallinem Silicium.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht das selektiv angreifbare Material aus polykristallinem Silicium oder einer Harzschicht.

Weiterhin weist ein erfindungsgemäßes Mikromagnetometer einen besonders leichten Aufbau des vibrierenden Flügels auf, weil er lediglich zwei dünne Metallisierungsschichten umfaßt, z. B. einen "Sandwich", der aus zwei Aluminiumschichten besteht, die durch eine Aluminiumoxidschicht getrennt sind. Dieses äußerst leichte vibrierende Element hat eine hohe Vibrationsfrequenz, die, wie dies nachfolgend erläutert wird, durch den Designer gewählt werden kann. Dieser könnte insbesondere die Abmessungen des vibrierenden Flügels oder das Metall, welches die verschiedenen Leiterschichten bildet, auswählen. Wenn man ein erfindungsgemäßes Mikromagnetometer mit einem Mikromagnetometer mit Flügeln aus Silicium nach dem Stand der Technik vergleicht, stellt man fest, daß das erfindungsgemäße Mikromagnetometer einen höheren Gütefaktor  $Q$ , d. h. eine höhere Empfindlichkeit aufweist.

Diese und andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden genauer in der folgenden Beschreibung

von besonderen Ausführungsformen dargestellt, die mit Bezug auf die beigelegten Zeichnungen vorstatten geht, in denen

- Fig. 1 eine sehr schematische Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Struktur ist,
- Fig. 2 eine schematische perspektivische Darstellung ist, die der Fig. 1 entspricht,
- Fig. 3A und 3B Längs- und Querschnitte einer erfindungsgemäßen Struktur sind,
- Fig. 4A, 4B und 4C in sehr schematischer Weise einen Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellen, und
- Fig. 5 beispielhaft und teilweise in Blockform das elektrische Schaltbild eines erfindungsgemäßen Detektors insgesamt darstellt.

Das Prinzip eines erfindungsgemäßen Mikromagnetometers wird zunächst mit Bezug auf die Schnittansicht der Fig. 1 und die perspektivische Ansicht der Fig. 2 dargestellt, welche in sehr schematischer Weise bestimmte Aspekte der vorliegenden Erfindung darstellen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Balken vorgesehen, der aus einer Mehrschichtstruktur besteht, welche eine erste Leiterschicht 1, eine Isolatorschicht 2 und eine zweite Leiterschicht 3 umfaßt. Ein erster Teil der Mehrschichtstruktur ruht auf einem Substrat und ein zweiter Teil, welcher den Balken bildet, steht über dieses Substrat vor. Wie die Fig. 2 besser zeigt, umfaßt der zweite Teil, zumindestens, was die obere Schicht 3 anbelangt, einen Abschnitt 4, der in einer

ersten Richtung im wesentlichen parallel zu der Grenze 5 des Substrats orientiert ist, über die dieser zweite Teil vorsteht. Dieser Abschnitt 4 ist einstückig mit zwei Streifen 6 und 7 ausgebildet, die zu ihm orthogonal sind und sich über das Substrat fortsetzen. Mit anderen Worten: bilden der Streifen 6, der Abschnitt 4 und der Streifen 7 einen Teil einer elektrischen Windung, welche es gestattet, in dem Abschnitt 4 einen elektrischen Strom mit einem gewählten Wert, z. B. einen Wechselstrom, fließen zu lassen. Auf diese Weise verbiegt sich in Abhängigkeit von der Stärke eines magnetischen Felds B, das senkrecht zu der Hauptrichtung des Abschnitts 4 orientiert ist, der durch den vorstehenden Teil gebildete Balken 4 mehr oder weniger, wenn der Strom ein Gleichstrom ist, oder oszilliert mehr oder weniger, wenn der Strom ein Wechselstrom (z. B. mit der mechanischen Resonanzfrequenz des Balkens) ist.

In dem Beispiel der Fig. 1 wird das Substrat aus einem Siliciumwafer 10 gebildet, der mit einer ersten Schicht aus Siliciumoxid 11 bedeckt ist, die ihrerseits von einer zweiten Siliciumschicht 12 bedeckt ist, welche eine Stufe darstellt, über die der zweite Teil der Mehrschichtstruktur 1, 2, 3 vorsteht. Um die Verbiegung oder die Vibrationen des Abschnitts 4 festzustellen, ist ein Teil einer leitenden Schicht 14 im wesentlichen gegenüber dem Abschnitt 4 angeordnet und man stellt in herkömmlicher Weise die Änderung der Kapazität zwischen dem Teil der Schicht 1 des Segments 4 und dem Schichtteil 14 fest, wobei diese Kapazität charakteristisch für den Abstand und für Änderungen des Abstands zwischen diesen Elementen ist.

Die Fig. 3A und 3B stellen genauer, wenn auch immer noch sehr schematisch, Schnittansichten entlang den Ebenen A-A und B-B der Fig. 2 dar und sind dafür vorgesehen, beispielhaft eine Art der Herstellung eines Sensors gemäß der vorliegenden Erfindung zu illustrieren.



Man wird feststellen, daß in diesen Figuren, wie auch in den anderen Figuren, die Dicken und seitlichen Abmessungen der verschiedenen Schichten nicht maßstabsgerecht gezeichnet sind, sondern, wie dies auf dem Gebiet der integrierten Schaltungen üblich ist, willkürlich verbreitert oder verringert sind, um die Verständlichkeit der Figuren zu verbessern. Hinsichtlich der Abmessungen der verschiedenen Schichten wird Bezug auf die übliche Praxis in der Technik genommen, außer wenn besondere Werte im nachfolgenden Text angegeben sind.

Um eine Struktur wie die in den Fig. 3A und 3B dargestellte herzustellen, beginnt man mit einem Siliciumsubstrat 10, auf welchem durch thermische Oxidation und/oder durch chemische Dampfphasenabscheidung eine Siliciumoxidschicht 11 ausgebildet wird. Eine Schicht aus polykristallinem Silicium 14, die stark dotiert ist, um leitend zu sein, wird abgeschieden und geätzt, so daß sie sich gegenüber dem später zu bildenden oszillierenden Abschnitt befindet. Die gesamte Oberfläche und insbesondere der Bereich oberhalb der Schicht aus polykristallinem Silicium wird mit einer Isolierschicht überzogen, z. B. aus Siliciumoxid 21. Auf dieser Schicht wird eine Schicht aus polykristallinem Silicium 22 gebildet, die geätzt wird, so daß sie sich insbesondere unterhalb des zweiten Teils der vorangehend genannten Mehrschichtstruktur befindet, von dem man wünscht, daß er vorsteht. Dann werden nacheinander eine erste Aluminiumschicht 1 (z. B. durch Vakuumaufdampfen), eine Isolationsschicht aus Aluminiumoxid 2 (z. B. durch thermische Oxidation) und eine zweite Schicht aus Aluminium 3 (wieder durch Vakuumaufdampfen) gebildet. Die Mehrschichtstruktur, welche durch die drei Schichten 1, 2 und 3 gebildet wird, wird entsprechend dem gewünschten Muster, z. B. entsprechend der Darstellung der Fig. 2, geätzt. Danach wird die Schicht 22 aus polykristallinem Silicium durch selektives Angreifen bezüglich des Siliciumoxids, des Aluminiums und des Aluminiumoxids beseitigt und man erhält die dargestellte Struktur.

Wohlgermerkt stellt die Abfolge der vorangehend beschriebenen Schritte nur ein Beispiel aus zahlreichen möglichen Verfahren zur Realisierung der erfindungsgemäßen Struktur dar. Insbesondere könnte man verschiedene Einebnungsschritte vorsehen, damit die obere Fläche der Schicht 21 eben ist und damit die obere Fläche der polykristallinen Siliciumschicht 22 sich auf derselben Höhe in einer Oxidfläche derart fortsetzt, daß die obere Fläche des Balkens eben ist, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Man kann so unter den Schichten 1, 2 und 3 einen Leiter vorsehen, der dafür bestimmt ist, das zu messende Feld zu kompensieren, und einen integralen Teil des Mikromagnetometers bildet.

Andererseits sind zahlreiche Abwandlungen hinsichtlich der verwendeten Materialien möglich. Während Silicium und Siliciumoxid die derzeit am weitesten verbreiteten Materialien sind, könnten andere analoge Materialien verwendet werden. Weiterhin könnte anstelle des dotierten polykristallinen Siliciums der Schicht 14 jedes andere Leitermaterial verwendet werden, das mit dem Herstellungsprozeß verträglich ist. Gleichermaßen könnte man anstelle der zwei Aluminiumschichten 1 und 3 Schichten aus anderen Metallen oder metallischen Legierungen, wie Ti oder Ti-Cu, verwenden, sofern sie eine ausreichende Festigkeit, um eine vorstehende Ausbildung zu gestatten, und eine elektrische Leitfähigkeit besitzen, die ausreicht, um den Strom  $i$  fließen zu lassen, der dafür vorgesehenen ist, mit dem elektrischen Feld  $B$  in Wechselwirkung zu treten, um eine Verlagerung aufgrund der Laplace-Kraft zu erzeugen.

Der Hauptgrund, weswegen man es tatsächlich vorzieht, als Substrat ein Siliciumsubstrat zu verwenden, wird im rechten Teil der Fig. 3B deutlich. Der vorangehend beschriebene Prozeß ist nämlich kompatibel mit der gleichzeitigen Herstellung von MOS-Transistoren in dem Siliciumwafer 10. Wie der Fachmann feststellen wird, kann das Gate 25 eines solchen MOS-Transistors

im gleichen Schritt wie die leitende Platte 14 gebildet werden.

Weiterhin ist, obwohl dies in den verschiedenen Figuren aus Gründen der Vereinfachung nicht dargestellt wurde, klar, daß die verschiedenen Leiterschichten zu anderen Schichten oder zu Anschlußstellen verlängert sind, um die notwendigen Verbindungen zu gewährleisten, wobei einer der Schritte der Endfertigung darin besteht, Kontakte mit den erwähnten Anschlußstellen herzustellen.

Die Fig. 4A, 4B, 4C stellen in allgemeiner Weise die Bildung eines vorstehenden Balkens gemäß der Erfindung dar. Wie dies die Fig. 4A darstellt, wird auf einem Substrat 30 eine Schicht 31 aus einem selektiv angreifbaren Material gebildet, die mit dünnen Schichten 32 aus einem oder mehreren Materialien überzogen wird, aus denen man den Balken herstellen will. Dann wird in dem in Fig. 4B dargestellten Schritt der Balken entsprechend der gewünschten Konfiguration geätzt und schließlich wird, wie dies im Schritt der Fig. 4C dargestellt ist, das selektiv angreifbare Material 32 beseitigt.

Hinsichtlich des selektiv angreifbaren Materials wurde vorangehend die Verwendung von polykristallinem Silicium vorgeschlagen. Es kann bei manchen Anwendungen einfacher sein, eine Harzschicht vorzusehen.

Wenn man mit  $l$  die Länge der Streifen 6 und 7, die orthogonal zu dem Abschnitt 4 (vgl. Fig. 2) sind, mit  $L$  die Breite dieser Streifen und die Breite des Abschnitts, mit  $L_0$  die Gesamtlänge des Abschnitts 4 und mit  $e$  die Gesamtdicke der Mehrschichtstruktur, welche die Elemente 1, 2 und 3 enthält, bezeichnet, erhält man bei einer Struktur der in Fig. 2 dargestellten Art, bei der  $e = 2 \mu\text{m}$  ist,

- eine Resonanzfrequenz von 160 kHz mit  $L = 30 \mu\text{m}$ ,

- $l = 60 \mu\text{m}$ ,  $L_0 = 120 \mu\text{m}$  (eine Beschleunigung von  $1 \text{ g}$  entspricht einem Magnetfeld von  $1,5 \text{ nT}$ , während sie  $10^3 \text{ nT}$  bei einem vergleichbaren Mikromagnetometer mit einem vibrierenden Siliciumflügel wäre),
- eine Resonanzfrequenz von  $1,4 \text{ MHz}$  mit  $l = 20 \mu\text{m}$ ,  
 $l = 10 \mu\text{m}$ ,  $L_0 = 40 \mu\text{m}$ .

Es ist ein Vorteil der vorliegenden Erfindung, der insbesondere auf die geringe Masse des Balkens zurückzuführen ist, daß man derartig hohe Resonanzfrequenzen erreichen kann, die es gestatten, sich von Vibrationen oder parasitären Beschleunigungen unabhängig zu machen, die normalerweise in mechanischen Systemen vorhanden sind, und das Rauschen zu verringern, das umgekehrt proportional zu der Frequenz des elektronischen Detektionssystems ist.

Weiterhin ermöglicht es das Herstellungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung, wie dies für eine gute Detektierbarkeit wünschenswert ist, einen Abstand zwischen den zwei Elektrodenplatten 4 und 14 zu erreichen, der es ermöglicht, Vibrationen des erfindungsgemäßen Balkens mit sehr geringer Amplitude zu detektieren. Wenn dieser geringe Abstand es gestattet, eine Kapazität mit einem meßbaren Wert selbst für kleine Abmessungen des erfindungsgemäßen Balkens zu erreichen, weist er einen Nachteil dahingehend auf, daß die zwischen dem Balken und der Elektrodenplatte des Substrats eingeschlossene Luft dazu neigt, die Vibrationen zu dämpfen. Um sich dieses Effekts zu entledigen, montiert man eine erfindungsgemäße Struktur vorzugsweise unter einer evakuierten Haube.

Fig. 5 stellt in sehr schematischer Weise die Verschaltung eines Sensors gemäß der vorliegenden Erfindung dar. In dem Schaltbild der Fig. 5 ist die Windung oder der Segmentabschnitt der oberen Schicht 3, in welcher der Strom  $i$  fließt, der dafür vorgesehen ist, mit dem angelegten Magnetfeld in

Wechselwirkung zu treten, um die Struktur zu verbiegen oder zum Oszillieren zu bringen, mit dem Bezugszeichen 40 versehen. Der Teil der unteren Schicht 1 des Segments 4 stellt eine erste, mit der Masse verbundene Platte eines Kondensators 41 dar, deren andere Platte der leitenden Fläche 14 entspricht. Diese zweite Platte ist über eine Verbindung mit einer Spannungsquelle VCC polarisiert, die über zwei Kopf an Kopf geschaltete Dioden 42 und 43 hergestellt wird. Diese zweite Platte ist weiterhin mit dem Gate eines MOS-Transistors 44 verbunden, normalerweise einem Transistor, der in der gleichen Struktur ausgebildet ist, wie dies in dem rechten Teil der Fig. 3B dargestellt ist. Die Polarisationschaltung mit zwei Kopf an Kopf geschalteten Dioden gestattet es, das Gate des Transistors 44 mit dem Wert der Spannung VCC zu polarisieren.

Das von dem MOS-Transistor 44 verstärkte Ausgangssignal wird durch einen Hochfrequenzverstärker 45 noch verstärkt, der über einen Steuerkreis 46 und einen MOS-Transistor 47 wirkt, der in Reihe mit der Windung 40 geschaltet ist, um den Strom in dieser Windung 40 mit der Resonanzfrequenz des Balkens (Maximalwert des Ausgangssignals) zu triggern. Weiterhin kann man einen Kompensationsleiter 50 vorsehen, der z. B. auf dem vorangehend beschriebenen Substrat angeordnet ist und von einem synchronen Demodulator 51 und einem Steuerkreis 48 getriggert wird, um die Oszillation des erfindungsgemäßen Sensors auf einem sehr kleinen Wert zu halten und die Linearität der Messungen zu verbessern.

Wie im Verlauf der vorangehenden Beschreibung bereits angesprochen wurde, kann die vorliegende Erfindung zahlreichen Varianten und Verbesserungen unterzogen werden, die sich für den Fachmann ergeben, insbesondere hinsichtlich der verwendeten Materialien. Verschiedene Herstellungsverfahren können aus den herkömmlichen Verfahren auf dem Gebiet der Herstellung von integrierten Schaltungen gewählt werden.

Weiterhin kann man Abwandlungen der Form des vibrierenden Balkens vorsehen. Z. B. hat die untere leitende Schicht, die als Kondensatorplatte dient, nicht notwendigerweise dieselbe Form wie die obere leitende Schicht, die dafür dient, einen Strom fließen zu lassen, der mit einem Magnetfeld wechselwirkt. Man kann weiterhin vorsehen, den Balken mit einem isolierenden Überzug, z. B. aus  $\text{SiO}_2$ , zu versehen. Man kann weiterhin zwei symmetrische Strukturen derart koppeln, daß bestimmte parasitäre Effekte beseitigt werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Mikromagnetometer mit kapazitiver Detektion, welches umfaßt:

- zwei dünne, übereinander angeordnete Leiterschichten (1, 3), welche durch eine isolierende Zwischenschicht (2) getrennt sind und auf einem isolierenden Substrat ausgebildet sind, wobei zumindest die obere Schicht (3) geätzt ist, so daß sie ein Schichtsegment (4) umfaßt, welches an seinen Enden mit zwei parallelen Streifen (6, 7), welche orthogonal zu diesem Segment sind, zusammenstößt, und wobei das Segment und ein Teil dieser Streifen sowie die entsprechenden Teile der unteren Schicht einen Flügel bilden, welcher sich oberhalb einer Aussparung des Substrats befindet,
- eine leitende Fläche (14), welche in der Aussparung des Substrats zumindest gegenüber dem Segment ausgebildet ist,
- elektrische Verbindungseinrichtungen zu den zwei Streifen (6, 7) der oberen Schicht, um daran eine Stromquelle anzuschließen, und
- eine Meßeinrichtung für die Änderung der Kapazität zwischen der unteren dünnen Leiterschicht (1) und der leitenden Oberfläche (14).

2. Mikromagnetometer nach Anspruch 1, in welchem die dünnen Schichten (1, 3) eine Dicke von der Größenordnung von ungefähr  $0.1 \mu\text{m}$  bis zu einigen  $\mu\text{m}$  besitzen, das Segment (4) eine Länge von der Größenordnung von einigen zehn  $\mu\text{m}$  bis zu einigen hundert  $\mu\text{m}$  besitzt und die überhängenden Abschnitte der Streifen eine Länge und Breite in der Größenordnung von  $10 \mu\text{m}$  besitzen.

3. Verfahren zur Herstellung eines Mikromagnetometer-Sensorelements, welches die Schritte umfaßt:
- Bereitstellen eines Substrats mit einer oberen isolierenden Oberfläche (10, 11, 21, 30), welches wenigstens eine leitende Fläche (14) umfaßt,
  - Bilden eines Schichtabschnitts (22; 31) insbesondere oberhalb der leitenden Fläche (14) aus einem Material, das selektiv bezüglich der freiliegenden Oberflächen des Substrats angegriffen werden kann,
  - Bilden eines Sandwichs oberhalb des Substrats und des besagten Schichtabschnitts (22; 31) aus einem selektiv angreifbaren Material, welcher umfaßt:
    - eine erste Leiterschicht (1),
    - eine Isolatorschicht (2),
    - eine zweite Leiterschicht (3),
  - Ätzen des Sandwichs, so daß davon ein erster Abschnitt auf dem Substrat und ein zweiter Abschnitt auf dem Schichtabschnitt (22; 31) aus einem selektiv angreifbaren Material an ihrem Ort belassen werden, wobei dieser zweite Abschnitt derart geformt ist, daß er das Fließen eines Stroms in der oberen Leiterschicht (3) in einer Hauptrichtung gestattet, die orthogonal zu dem zu detektierenden Feld ist, und
  - Beseitigen des Schichtabschnitts (22; 31) aus einem selektiv angreifbaren Material durch selektives Angreifen, woraus resultiert, daß der zweite Abschnitt oberhalb der Leiteroberfläche (14) vorsteht.
4. Verfahren nach Anspruch 3. bei welchem die Leiterschichten (1, 3) Aluminiumschichten sind und die Isolationsschicht (2) eine Aluminiumoxidschicht ist.



5. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem das Substrat ein Silicium-Wafer (10) ist, der mit Siliciumoxid (11) überzogen ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei welchem die leitende Fläche (14) ein Teil einer Schicht aus dotiertem polykristallinem Silicium ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei welchem das selektiv angreifbare Material aus polykristallinem Silicium besteht, wobei die Schicht aus polykristallinem Silicium (14) nach Anspruch 6 selbst vorher mit Siliciumoxid (21) beschichtet wurde.
8. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem die Schicht aus dem selektiv angreifbaren Material (22; 31) eine Harzschicht ist.



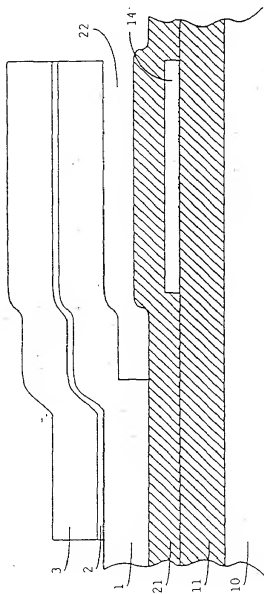


Figure 3A



Figure 4A

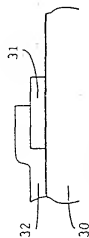


Figure 4B

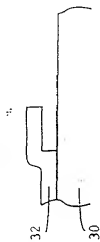
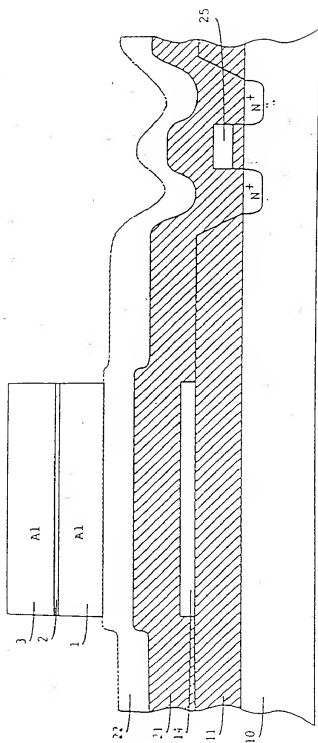
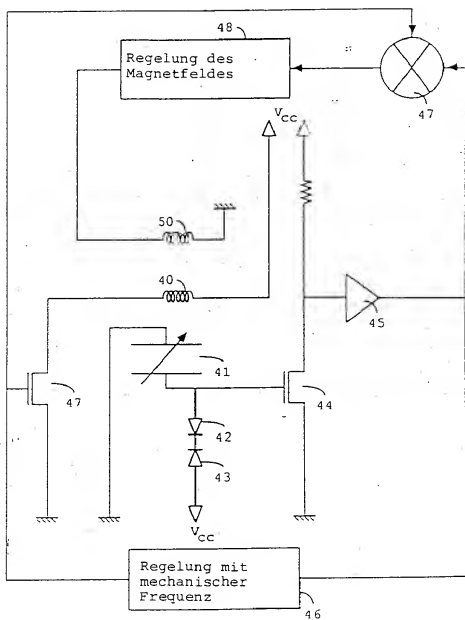


Figure 4C



Figur 3B



Figur 5